

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-098731  
 (43)Date of publication of application : 09.04.1999

(51)Int.CI.

H02K 1/27  
 H02K 1/16  
 H02K 1/26  
 H02K 21/16

(21)Application number : 10-180091  
 (22)Date of filing : 26.06.1998

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD  
 (72)Inventor : ASANO YOSHINARI  
 SHINDO MASAYUKI  
 ITO HIROSHI  
 MORISHIGE TAKESHI  
 OBARA KAZUHIRO  
 HONDA YUKIO  
 MURAKAMI HIROSHI  
 SUMIYA NAOYUKI  
 YOKOTE SHIZUKA

(30)Priority

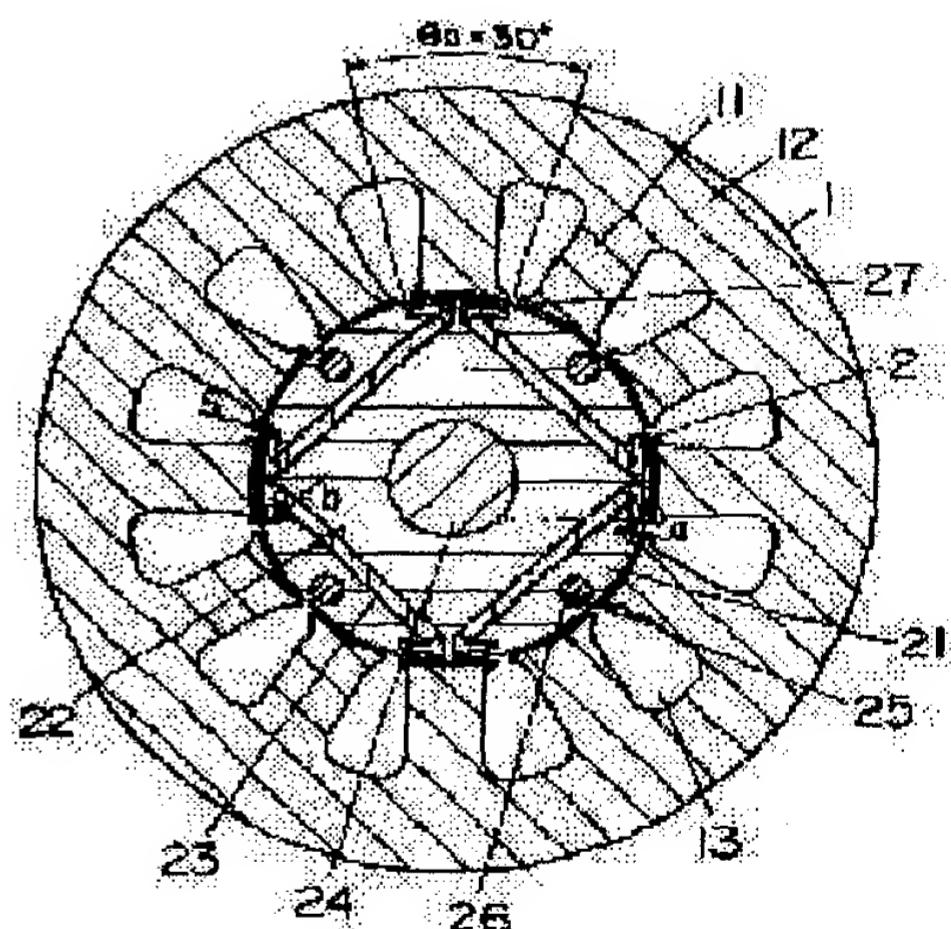
Priority number : 09195379 Priority date : 22.07.1997 Priority country : JP

## (54) MOTOR USING ROTOR WITH BURIED PERMANENT MAGNET THEREIN

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the efficiency of a motor and reduce its vibrations and noises, by so providing, closely to the outer periphery of its rotor core, preventing holes for short circuit of its magnetic fluxes as to contact the preventing holes with the end portions of its permanent-magnet burying holes and its permanent magnets buried therein, and by using its rotor with the permanent magnets buried in the permanent-magnet burying holes.

**SOLUTION:** Making a rotor 2 nearly cylindrical form and making it nearly concentric with a stator 1, it has four magnetic poles oppositely to the inner peripheral surface of the stator 1 to support it rotatably by a bearing through using an shaft 24 as its center. For the rotor 2, there are buried planar permanent magnets 23 in four permanent-magnet burying holes 22 provided at a nearly equal space in the rotational direction of a rotor core 21 and passed through the rotor core 21 in its axial direction. Further, in the rotor 2, closely to the outer periphery of the rotor core 21, preventing holes 27 for the short circuit of magnetic fluxes are so provided that they are contacted with the end portions of the permanent-magnet burying holes 22 and the permanent magnets 23 buried therein to bury the permanent magnets 23 in the permanent-magnet burying holes 22. As a result, a highly efficient motor with low cogging torque and reduced vibrations and noises is obtained.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ロータコアの外周に近接して、永久磁石埋設用穴およびそれに埋設される永久磁石の端部とに接するように磁束短絡防止用穴を備え、前記永久磁石埋設用穴に前記永久磁石を埋設したロータ。

【請求項2】 ロータコアの外周に近接して、永久磁石埋設用穴およびそれに埋設される永久磁石の端部とに接するように磁束短絡防止用穴を備え、前記永久磁石埋設用穴に前記永久磁石を埋設したロータと、複数のティースを有する略円環形状のステータとを有するモータ。

【請求項3】 磁束短絡防止用穴部をロータコア外周端より内側に設け、前記磁束短絡防止用穴部と前記ロータコア外周端との間に、狭間隔のロータコアを形成する部材部分を備えた請求項1記載のロータ。

【請求項4】 磁束短絡防止用穴部のロータコア外周に近接する部分の幅がロータコア中心に対して作る角度は、永久磁石のロータコア外周側に面する長手方向の幅がロータコア中心に対して作る角度よりも小さい請求項1記載のロータ。

【請求項5】 磁束短絡防止用穴部の半径方向の幅は、ロータとそのロータに対向するステータとのエアギャップの2倍以上の長さとしたロータを用いた請求項1または2記載のモータ。

【請求項6】 永久磁石が平板状である請求項1記載のロータ。

【請求項7】 あるロータ磁極における永久磁石埋設用穴および永久磁石端部に接する磁束短絡防止用穴と、そのロータ磁極に隣接するロータ磁極における磁束短絡防止用穴の内、前者の磁束短絡防止用穴に近い側の磁束短絡防止用穴とを含むロータ外周に近接するロータコア部分の角度 $\theta_a$ が、ロータ磁極数をNmとした時、 $120/Nm$ 度に配置されたロータを用いた請求項1記載のロータ。

【請求項8】 永久磁石が希土類磁石であるロータを用いた請求項1記載のロータ。

【請求項9】 磁束短絡防止用穴部の全部または一部に非磁性体を配した請求項1記載のロータ。

【請求項10】 永久磁石埋設用穴内部でかつ非磁性体により限定された空間に永久磁石を成形した請求項9記載のロータ。

【請求項11】 ロータ磁極数Nmが4であるロータを用いた請求項1記載のロータ。

【請求項12】 ステータコア外径に対するロータコア外径の比が0.47以上、0.5以下である請求項2記載のモータ。

【請求項13】 あるロータ磁極における磁束短絡防止用穴端部から、前記ロータ磁極から数えて時計または半時計方向にi番目(iはロータ磁極数Nm未満の自然数)のロータ磁極における、前者磁束短絡防止用穴端部に相当する磁束短絡防止用穴端部までの角度 $\theta_i$ が、ス

テータのティース数をNt、jを、前記iをロータ磁極Nmの半分のNm/2で割った値が整数となる時には0、整数とならない時には、異なるi同士間でそれらiを前記Nm/2で割った値の小数部分が同一である場合にそのNm/2未満でかつ同一の整数とした時に  
 $\theta_i = 360 \cdot i / Nm + 720 \cdot j / (Nt \cdot Nm)$

である請求項2記載のモータ。

【請求項14】 ステータティース数が3Nmである請求項2または13記載のモータ。

【請求項15】 磁束短絡防止用穴部のロータコア外周に近接する部分の幅がロータコア中心に対して作る角度が、2通り以上の値を有する請求項1、2または13記載のモータ。

【請求項16】 ロータ外周側に対して凹の円弧状永久磁石埋設用穴に永久磁石を埋設したロータを用いた請求項1記載のロータ。

【請求項17】 複数の永久磁石埋設用穴をロータ外周側に対してV字状に設け、前記永久磁石埋設用穴に複数の永久磁石を埋設することにより各ロータ磁極を形成した請求項1記載のロータ。

【請求項18】 ロータ外周側に対して凹の円弧状永久磁石埋設用穴に永久磁石を埋設し、前記永久磁石の円弧の内側と外側で別々のロータ磁極を形成した請求項1記載のロータ。

【請求項19】 あるロータ磁極を基準として時計または半時計方向に隣接するロータ磁極に連続してi=1、2、…、Nmと番号をつけ、前記基準のロータ磁極から数えてi番目のロータ磁極において、そのロータ磁極左端部の磁束短絡防止用穴部のロータコア外周に近接する部分の幅がロータコア中心に対して作る角度を $\delta_{iL}$ 、ロータ磁極右端部のそれを $\delta_{iR}$ とした時、nは、1以上、Nm/2以下の整数として固定し、 $\delta_{0L, R}$ は、0より大きく、 $60/Nm$ 度より小さく、jは、前記iが偶数の場合と奇数の場合、また、ロータ磁極左端部と右端部でそれぞれ独立して、0から(Nm/2n)-1までの整数をそれぞれn回ずつ取るものとし、  
 $\delta_{iL, R} = \delta_{0L, R} + 240 \cdot n \cdot j / Nm^2$

である請求項1または2記載のモータ。

【請求項20】  $\delta_{0L, R} = 120 \cdot n / Nm^2$ である請求項19記載のモータ。

【請求項21】 n=1である請求項19記載のモータ。

【請求項22】 ステータティース数が(3/2)Nmである請求項2記載のモータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、空調機器や各種産業機器等に使用される駆動用モータに関するものである。特に、ロータコア内部に永久磁石を埋め込み、マグネットトルクのみならずリラクタンストルクをも有効利

用するモータの構造に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、例えば日本特許出願特開平8-331823号公報に開示されているように、ロータコア内部に永久磁石を埋め込むことで、マグネットトルクとリラクタンストルクを併せて利用することにより、高効率を実現するモータが知られている。図15は、従来のこの種のモータの断面図を示している。ステータ1は複数のティース11とそのティース11の根元をつなぐヨーク部12とからなり、略円環形状をしている。その複数のティース11間に形成される複数のスロット13には三相巻線が施されている。ロータ7は、ステータ1と略同軸の略円筒形状であり、ステータ内周面に対向して4個のロータ磁極を有し、軸24を中心として回転自在となるように軸受(図示せず)によって支持されている。ロータ7は、ロータコア71の回転方向に略等間隔に設けられ、かつ軸方向に貫く4個の永久磁石埋設用穴72に、板状の永久磁石73を埋設している。また、そ

$$T = P_n \{ \psi a \cdot I \cdot \cos \beta + 0.5 (L_q - L_d) I^2 \cdot \sin 2\beta \} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

で表される。上記(1)式において、第一項はマグネットトルク、第二項はリラクタンストルクを表している。ここで  $L_d < L_q$  の関係を満たす時に、電流進角制御を行なうことにより  $\beta > 0$  となりリラクタンストルクが発生する。この  $\beta$  の値を所定の値に設定することにより、同一電流において、マグネットトルクのみの時と比べ、より大きいトルク  $T$  を発生させることが可能である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記構成では、永久磁石埋設用穴とロータ外周に施された切り欠きとの間に透磁率の高い鋼板部があるため、永久磁石端部の磁束が、ステータ1に渡ってトルク発生に有効に寄与することなく、鋼板部の磁路  $P_a$  を通り短絡してしまう、すなわち、マグネットトルクが短絡した磁束分小さくなることになり、効率は低下する。また、その短絡磁束の発生により、コギングトルクが大きくなり、振動や騒音が大きくなるという欠点を有していた。

【0006】本発明は、上記課題を解決するためのものであり、モータ効率が高く、振動や騒音の小さなモータを提供するものである。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため本発明のモータは、ロータコアに、ロータコアの外周に近接して永久磁石埋設用穴およびそれに埋設される永久磁石の端部とに接するように磁束短絡防止用穴を備え、上記永久磁石埋設用穴に上記永久磁石を埋設したロータを用いたものである。これにより永久磁石端部での磁束の短絡を防止し、永久磁石の端部の磁束もステータに渡り、トルク発生に有効に働くことにより、高効率で、かつコギングトルクが低く、振動や騒音の少ないモータを

のロータコア71の軸方向の両端部に端板(図示せず)を配し、貫通穴25にリベットピン26を通してにより永久磁石73をロータコア71に固定している。ロータ外周は、ロータ磁極の境目付近で切り欠き77を有し、永久磁石73の長手方向両端はその切り欠き77に近接している。ロータ7は、ステータ巻線に流れる電流により形成される回転磁界により、そのロータ磁極がステータ1のティース11に対して吸引または反発することにより回転している。

【0003】上記構成において、ロータ磁極に直交するd軸方向のインダクタンス  $L_d$  と、ロータ磁極の境目を貫くq軸方向のインダクタンス  $L_q$  との間に、 $L_d < L_q$  の関係が成立する。

【0004】一般にモータのトルク  $T$  は、ロータの極対数を  $P_n$ 、鎖交磁束を  $\psi a$ 、ステータ巻線電流を  $I$  および電流  $I$  の進み位相角(電気角において)を  $\beta$  すると、

$$T = P_n \{ \psi a \cdot I \cdot \cos \beta + 0.5 (L_q - L_d) I^2 \cdot \sin 2\beta \} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

提供するものである。

【0008】また、本発明のモータは、ロータコアに、ロータコアの外周に近接して永久磁石埋設用穴およびそれに埋設される永久磁石の端部とに接するように磁束短絡防止用穴を備え、上記永久磁石埋設用穴に上記永久磁石を埋設したロータと、複数のティースを有する略円環形状のステータとを有するものである。これにより永久磁石両端部での磁束の短絡を防止し、永久磁石の端部の磁束もステータに渡り、トルク発生に有効に働くことにより、高効率で、かつコギングトルクが低く、振動や騒音の少ないモータを提供できる。

【0009】また好ましくは、ロータ構成が、あるロータ磁極の永久磁石埋設用穴およびそれに埋設される永久磁石端部に接する磁束短絡防止用穴と、そのロータ磁極に隣接するロータ磁極における同様な磁束短絡防止用穴の内、前者の磁束短絡防止用穴に近い側の磁束短絡防止用穴とを含むロータ外周に近接したロータコア部分の角度  $\theta_a$  を、ロータ磁極数を  $N_m$  とした場合、略  $120/N_m$  度に成すことにより、磁束を有効利用でき高効率であるばかりでなく、コギングトルク、トルク脈動を小さくすることができ振動や騒音を低く抑えることができる。

【0010】

【発明の実施の形態】本願発明の永久磁石ロータは、ロータコアの外周に近接して、永久磁石埋設用穴およびそれに埋設される永久磁石の端部とに接するように磁束短絡防止用穴を備え、前記永久磁石埋設用穴に前記永久磁石を埋設した構成であり、永久磁石周方向両端部の磁束の短絡を防ぎ、永久磁石の磁束がステータに渡り、トルク発生に有効に働くことにより、効率を高くするととも

に、コギングトルクが低く、振動・騒音の少ない永久磁石モータを提供できる。

【0011】さらに、磁束短絡防止用穴部をロータコア外周端より内側に設け、前記磁束短絡防止用穴部と前記ロータコア外周端との間に、狭間隔のロータコアを形成する部材部分を備えてもよい。

【0012】さらに、磁束短絡防止用穴部のロータコア外周に近接する部分の幅がロータコア中心に対して作る角度は、永久磁石のロータコア外周側に面する長手方向の幅がロータコア中心に対して作る角度よりも小さくしてもよい。

【0013】さらに、磁束短絡防止用穴部の半径方向の幅は、ロータとそのロータに対向するステータとのエアギャップの2倍以上の長さとしたロータを用いてもよい。

【0014】さらに、永久磁石が平板状であってもよい。さらに、あるロータ磁極における永久磁石埋設用穴および永久磁石端部に接する磁束短絡防止用穴と、そのロータ磁極に隣接するロータ磁極における磁束短絡防止用穴の内、前者の磁束短絡防止用穴に近い側の磁束短絡防止用穴とを含むロータ外周に近接するロータコア部分の角度 $\theta_a$ が、ロータ磁極数をNmとした時、略120/Nm度に配置されたロータであってもよい。

【0015】さらに、永久磁石が希土類磁石であるロータを用いてもよい。さらに、磁束短絡防止用穴部の全部または一部に非磁性体を配してもよい。

【0016】さらに、永久磁石埋設用穴内部でかつ非磁性体により限定された空間に永久磁石を成形してもよい。

【0017】さらに、ロータ磁極数Nmが4であるロータを用いてもよい。さらに、ステータコア外径に対するロータコア外径の比が0.47以上、0.5以下であってもよい。

【0018】さらに、あるロータ磁極における磁束短絡防止用穴端部から、前記ロータ磁極から数えて時計または半時計方向にi番目(iはロータ磁極数Nm未満の自然数)のロータ磁極における、前者磁束短絡防止用穴端部に相当する磁束短絡防止用穴端部までの角度 $\theta_i$ が、ステータのティース数をNt、jを、前記iをロータ磁極数Nmの半分のNm/2で割った値が整数となる時には0、整数とならない時には、異なるi同士間でそれらiを前記Nm/2で割った値の小数部分が同一である場合にそのNm/2未満でかつ同一の整数とした時に $\theta_i = 360 \cdot i / Nm + 720 \cdot j / (Nt \cdot Nm)$ であってもよい。

【0019】さらに、ステータティース数が3Nmであってもよい。さらに、磁束短絡防止用穴部のロータコア外周に近接する部分の幅がロータコア中心に対して作る角度が、2通り以上の値を有すしてもよい。

【0020】さらに、ロータ外周側に対して凹の円弧状

永久磁石埋設用穴に永久磁石を埋設したロータを用いてもよい。

【0021】さらに、複数の永久磁石埋設用穴をロータ外周側に対してV字状に設け、前記永久磁石埋設用穴に複数の永久磁石を埋設することにより各ロータ磁極を形成してもよい。

【0022】さらに、ロータ外周側に対して凹の円弧状永久磁石埋設用穴に永久磁石を埋設し、前記永久磁石の円弧の内側と外側で別々のロータ磁極を形成してもよい。

【0023】さらに、あるロータ磁極を基準として時計または半時計方向に隣接するロータ磁極に連続してi=1、2、…、Nmと番号をつけ、前記基準のロータ磁極から数えてi番目のロータ磁極において、そのロータ磁極左端部の磁束短絡防止用穴部のロータコア外周に近接する部分の幅がロータコア中心に対して作る角度を $\delta_{iL}$ 、ロータ磁極右端部のそれを $\delta_{iR}$ とした時、nは、1以上、Nm/2以下の整数として固定し、 $\delta_{0L, R}$ は、0より大きく、60/Nm度より小さく、jは、前記iが偶数の場合と奇数の場合、また、ロータ磁極左端部と右端部でそれぞれ独立して、0から(Nm/2n)-1までの整数をそれぞれn回ずつ取るものとし、 $\delta_{iL, R} = \delta_{0L, R} + 240 \cdot n \cdot j / Nm^2$ であってもよい。さらに、 $\delta_{0L, R} = 120 \cdot n / Nm^2$ であってもよい。また、n=1はであってもよい。また、ステータティース数が(3/2)Nmであってもよい。

【0024】

【実施例】以下本発明の実施例について、図面を参照しながら説明する。

【0025】(実施例1)図1は第1の実施例を示すモータの断面図である。ステータ1は12個のティース11とそれらのティース11の根元をつなぐヨーク部12とからなり、略円環形状をしている。それらのティース11間に形成される12個のスロット13には三相巻線の各相を3ピッチおきに分布巻を施している。

【0026】ロータ2は、ステータ1と略同軸の略円筒形状であり、ステータ内周面に對向して4個のロータ磁極を有し、軸24を中心にして回転自在となるように軸受(図示せず)によって支持されている。ロータ2は、ロータコア21の回転方向に略等間隔に設けられ、かつ軸方向に貫く4個の永久磁石埋設用穴22に、板状の永久磁石23を埋設している。また、そのロータコア21の軸方向の両端部に端板(図示せず)を配し、貫通穴25にリベットピン26を通すことにより上記永久磁石23を上記ロータコア21に固定している。ロータ2は、ステータ巻線(図示せず)に流れる電流により形成される回転磁界により、そのロータ磁極がステータ1のティース11に対して吸引または反発することにより回転している。

【0027】ここでロータ2は、上記ロータコア21の

外周に近接して、永久磁石埋設用穴22およびそれに埋設される永久磁石23の端部とに接するように磁束短絡防止用穴27を備え、上記永久磁石埋設用穴22に上記永久磁石23を埋設している。

【0028】このような構成にすることにより、永久磁石23の端部から発生する磁束は、磁束短絡防止用穴27があるため、図15の従来例のように短絡することなく、ステータ1に渡り、トルク発生に有効に働く。これにより、高効率で、かつコギングトルクが低く、振動や騒音の少ないモータを実現できる。

【0029】またロータ2は、磁束短絡防止用穴部27をロータコア外周端より内側に設け、上記磁束短絡防止用穴部27と上記ロータコア外周端との間に、狭間隔の、ロータコア21を形成する鋼板部分を備えている。

【0030】ここで、磁束短絡防止用穴部27とロータコア外周端との距離Sは、磁気的には小さいほどよいが、強度面からは大きいほどよい。通常、上記距離Sはロータ2とステータ1のティース11との間のエアギャップと同等以下で、かつロータコア21を形成する積層鋼板の1枚の板厚の0.8倍以上にするとよい。

【0031】また、磁束短絡防止用穴部27の半径方向の幅aは、ロータ2とそのロータ2に対向するステータ1のティース11との間のエアギャップに対して十分大きな値を取るのが望ましく、通常は上記エアギャップの2倍以上にすればよい。

【0032】また、磁束短絡防止用穴部27のロータコア外周に近接する部分の幅がロータコア中心に対して作る角度は、永久磁石23のロータコア外周側に面する長手方向の幅がロータコア中心に対して作る角度よりも小さい。

【0033】すなわち、磁束短絡防止用穴部27のロータコア外周に近接した部分の長さは、永久磁石23端部の磁束がステータ1に渡るその磁束の流れを妨げない程度である必要がある。そうすることにより、永久磁石23端部の磁束が、その永久磁石23端部の両端で短絡することなく、確実にステータ1に渡りトルク発生に効果的に寄与する。

【0034】また、永久磁石埋設用穴22に埋設される永久磁石23は平板状であり、その製造が容易で安価である。またその永久磁石23が平板状であるため、良好な寸法精度を確保できロータコア21の永久磁石埋設用穴22とそこに埋設される永久磁石23との隙間が小さくでき、永久磁石23とロータコア21間の磁気抵抗を小さく抑えることができるので、効率の高いモータが実現できる。

【0035】また、永久磁石埋設用穴22に埋設される永久磁石23に希土類磁石を用いることにより、モータの小型化が図れる。なぜならば、同一出力を有するモータにおいて、希土類磁石を用いた場合はフェライト磁石を用いた場合に比べ磁束密度が大きいので、約半分の体

積で同等の効率を実現できるからである。また、希土類磁石は保磁力が高いため、その厚みを小さくできるが、厚みを小さくすることにより、従来例のロータ構成では永久磁石の長手方向の両端部で磁束の短絡が多く発生する。そこで、本発明の構成のように磁束短絡防止用穴27により磁束の短絡を防ぐことが極めて有効な手段となる。

【0036】上記構成により、従来例におけるモータと比較し、効率が、各負荷点において、1~3%向上した。

【0037】またロータ2は、永久磁石埋設用穴22の数がロータ磁極数Nmと同数であり、ロータコアの半径をrとした時、永久磁石23の端部の厚みbが $\pi r / (3Nm)$ 未満とすればよい。本第1の実施例では永久磁石埋設用穴22の数は4であり、ロータ磁極数4と同数であり、ロータコア21の半径をrとした時、永久磁石23端部の厚みbは $\pi r / 12$ 未満とすればよい。

【0038】またロータ2は、あるロータ磁極における永久磁石埋設用穴22および永久磁石23端部に接する磁束短絡防止用穴27と、そのロータ磁極に隣接するロータ磁極における磁束短絡防止用穴27の内、前者の磁束短絡防止用穴27に近い側の磁束短絡防止用穴27とを含むロータ外周に近接するロータコア部分の角度θaが、略 $120/Nm$ 度に配置されている。すなわち本第1の実施例では、ロータ磁極数Nmが4なので上記角度θaは回転方向の角度にして30度になるように配置されている。ここで、上記角度θaの誤差は、磁束短絡防止用穴部27とロータ外周との距離S未満とするのが望ましい。

【0039】上記の理由は次の通りである。図5は、図1における上記角度θaと、最大値を1として規格化した場合のコギングトルクとの関係を示した特性図である。上記角度θaは回転方向の角度で30度が最も低く、他の角度の1/2程度である。

【0040】図6は、上記角度θaと、最大値を1として規格化した場合の電流を流した時のトルク脈動値との関係を示した特性図である。回転方向の角度で30度が最も低く、次に35度が低い。

【0041】このように、上記角度θaは30度の時、コギングトルク、トルク脈動値ともに最も低く、振動や騒音の面で最も優れている。

【0042】なお、磁束短絡防止用穴部27の全部または一部に非磁性体を配してもよい。磁束短絡防止用穴部27に非磁性体を埋設すれば、ロータコア21の強度が向上する。

【0043】具体的には、上記磁束短絡防止用穴部27の全部または一部に、例えば真鍮やアルミニウムのような非磁性体のスペーサを配し、または、非磁性流体を充填し固めることにより、輸送やモータの運転などによって永久磁石が永久磁石埋設用穴内部で振動することがな

く、強度も増すため、信頼性の高いモータを提供できる。アルミダイカストにより、ロータ全体にアルミを流し込めば、端板、リベットピンをも一体として成形可能である。

【0044】永久磁石埋設用穴22内部でかつ非磁性体により限定された空間に永久磁石23を成形してもよい。すなわち、あらかじめ磁束短絡防止用穴部27に真鍮などの耐熱性の非磁性体を埋設した状態で、ロータコア21内部で、かつ上記非磁性体により限定された空間に例えば樹脂磁石のような永久磁石23を成形すれば、その永久磁石23の磁極面がロータコア21に密着するため信頼性が高く、また磁気抵抗が低下し磁束量が増大するため効率の高いモータを提供することができる。この場合に、上記非磁性体にテープを設けることにより、永久磁石成形後に上記非磁性体をロータから引き抜いてもよい。そうすることにより、上記非磁性体内部に発生する渦電流による、モータ損失を防止することができる。

【0045】さて、図2は、第1の実施例における永久磁石23と同一量の永久磁石を用い、かつ、ロータ磁極数に応じてロータ外径およびステータ内径を最適に設計した場合の、ロータ磁極数とモータ損失との関係を示した特性図である。ロータ磁極数が大きいほど、ロータ磁極の1磁極当たりから発生する磁束が少なくなり、それに伴ないステータ1のティース部11に渡る磁束量が少なくなるので、ステータ1のヨーク部12の断面に流れる磁束量が少なくなる。よって、ヨーク部12の厚みを小さくできる。

【0046】したがって、その分、ステータ外径を同一とした時、ステータ内径を大きくしロータ外径を大きくできる。トルクはロータ外径に比例するため、より少ないアンペアターン（電流×ステータ巻線の巻線数）で同一トルクを実現でき、その結果、銅損は小さくなる。

【0047】すなわち、銅損はロータ磁極数が大きくなるに伴ない小さくなる。一方、鉄損は周波数が大きいほど大きくなるので、一般的にロータ磁極数が大きいほど相切替え周波数が大きくなり、その結果、鉄損が大きくなる。

$$\theta_i = 360 \cdot i / N_m + 720 \cdot j / (N_t \cdot N_m) \quad \dots \dots \dots (2)$$

)

ここで、 $N_m$ はロータ磁極数であり、 $N_t$ はステータのティース数である。 $i$ はロータ磁極数 $N_m$ 未満の自然数である。 $j$ は、 $i$ をロータ磁極数 $N_m$ の半分すなわち $N_m/2$ で割った値が整数となる時には0、整数とならない時には、異なる $i$ 同士間でそれら $i$ を $N_m/2$ で割った値の小数部分が同一である場合にその $N_m/2$ 未満でかつ同一の整数である。

【0048】ロータ磁極数が2極の場合は、ロータ外径を一定に保ち、かつ磁石量を同一にすると、ロータ磁極の1磁極当たりから発生する磁束が多くなり、ステータ1のティース部11やヨーク部12で磁気飽和が発生し鉄損は増大する。

【0049】モータ損失は鉄損と銅損の合計であり、図2から明らかなように、モータ損失はロータ磁極数が4極が最も小さい。したがって、本実施例に示す構成においては、ロータ磁極数が4極の場合に効率が最も高い。また、ロータ磁極数が4極の場合、ステータが12スロットであれば、三相巻線の各相を3ピッチおきに分布巻を施すことになり、ロータ磁束を有効に利用できるため効率の高いモータを実現できる。

【0050】図3は、ロータコア21をシリコン含有量が3%程度、板厚0.35mmの鋼板を積層して形成した時の、ステータ外径に対するロータ外径の比率とモータ損失との関係を示した特性図である。

【0051】図4は、ロータコア21をシリコン含有量が1%未満の、板厚0.5mmの鋼板を積層して形成した時の、ステータ外径に対するロータ外径の比率とモータ損失との関係を示した特性図である。

【0052】上記図3および図4から明らかなように、ステータ外径に対するロータ外径の比率が大きくなるほど、銅損が減少し、鉄損は増加する傾向にある。モータ損失は、両図ともに、ステータ外径に対するロータ外径の比率が0.47から0.5の間で最小となっている。したがって、ステータ外径に対するロータ外径の比率は、0.47から0.5の間が最もモータ効率が高い。

【0053】（実施例2）図7は第2の実施例を示すモータの断面図である。

【0054】あるロータ磁極における磁束短絡防止用穴端部から、上記ロータ磁極から数えて時計または半時計方向に $i$ 番目（ $i$ はロータ磁極数 $N_m$ 未満の自然数）のロータ磁極における、前者磁束短絡防止用穴端部に相当する磁束短絡防止用穴端部までの角度 $\theta_i$ は次の（2）式で示される。

【0055】

【0056】図7の本第2の実施例では、ロータ磁極数 $N_m$ が4極、ステータティース数 $N_t$ が12ティースであり、上記（2）式に各数値を当てはめると、 $i$ と $j$ の値は（表1）のようになる。

【0057】

【表1】

iの取りうる数値: 1, 2, 3 (Nm=4未満の自然数)

jの取りうる数値: 0, 1 (0またはNm/2=2未満の自然数)

i	i / (Nm / 2)	j
1	0.5	1
2	1	0
3	1.5	1

【0058】磁束短絡防止用穴部37aの端部から磁束短絡防止用穴部37bの端部までの角度θ1は、i=1, j=1を上記(2)式に代入し計算すると105度となる。

【0059】また、磁束短絡防止用穴部37aの端部から磁束短絡防止用穴部37cの端部までの角度θ2は、i=2, j=0を同(2)式に代入し計算すると180度となる。

【0060】さらに、磁束短絡防止用穴部37aの端部から磁束短絡防止用穴部37dの端部までの角度θ3は、i=3, j=1を同(2)式に代入し計算すると285度となる。

【0061】上記構成により、ロータの磁極とステータのティースとの磁気的位置関係が2通りあり、かつ、その関係はロータ中心に対して点対称であるため、半径方向の吸引力を均一にすることができる。

【0062】すなわち、上記構成により、ロータの磁極数が4極の場合においては、ロータの磁極とステータのティースとの磁気的位置関係が2通りあることになる。さらに、略90度ずれたティース間のロータ磁極との位置関係は異なるが、略180度ずれたティース間のロータ磁極との位置関係は等しい。したがって、半径方向に働く力は、略180度ずれたティース間同士で打ち消しあうため、半径方向の吸引力を均一にすることができる。この、コギングトルクを低減でき、振動や騒音の小さいモータを提供できる。

【0063】一般にコギングトルクは、ロータ1回転につき、ロータの磁極数Nmとステータのティース数Ntの最小公倍数Ncだけ変動する。すなわち、(360/Nc)度に1回の変動がある。したがって、ステータのティース数Ntが3Nmの場合、(120/Nm)度に1回の変動となる。ところが、磁束短絡防止用穴部の先端とステータのティース先端との位置関係を本第2の実施例のように2通りにすることにより、(60/Nm)度に1回の変動となり、コギングトルクの変動を1回転につき6Nm回とすることができる。

【0064】図5において、あるロータ磁極における永久磁石埋設用穴および永久磁石端部に接する磁束短絡防止用穴と、そのロータ磁極に隣接するロータ磁極における磁束短絡防止用穴の内、前者の磁束短絡防止用穴に近い側の磁束短絡防止用穴とを含むロータ外周に近接するロータコア部分の角度θaは、同じ回転方向の角度で30度でも、図1に示す第1の実施例のような等ピッチの

場合よりも、図7に示す本第2の実施例のような不等ピッチの場合の方がコギングトルクが低く、その波形の周期も2倍となる。すなわち、第1の実施例のコギングトルクは1回転当たり12回変動するのに対して、本第2の実施例のそれは24回変動することになり、コギングトルクが平滑化され低くなる。

【0065】また、図6において、上記角度θaは、同じ回転方向の角度で30度でも、図1に示す第1の実施例のような等ピッチの場合よりも、図7に示す本第2の実施例のような不等ピッチの場合の方がトルク脈動も低い。

【0066】したがって、本第2の実施例におけるモータは、コギングトルク、トルク脈動値ともに低く、振動や騒音の面で第1の実施例よりも優れている。

【0067】(実施例3) 図8は第3の実施例を示すモータの断面図である。

【0068】ロータコア41の永久磁石埋設用穴42はロータ外周側に凹の円弧形状であり、その穴42には板状の永久磁石43を埋設している。

【0069】上記構成により、永久磁石43の表面積を図1に示す第1の実施例よりも大きく取ることができ、大きなトルクを得ることができる。この時、永久磁石43の半径が、ロータ半径に比べて同等以下であると、永久磁石43の表面積が、ロータの1極分の表面積以上となり好適である。使用する永久磁石43の保持力が比較的低い場合などには、この構成により必要とする磁束量を確保することができ有効である。

【0070】(実施例4) 図9は第4の実施例を示すモータの断面図である。

【0071】複数の永久磁石埋設用穴をロータ外周側にV字状に設け、上記永久磁石埋設用穴には複数の永久磁石を埋設している。

【0072】具体的には、ロータコア51の永久磁石埋設用穴52には、その穴52の1個あたり、平板状の永久磁石53aおよび53bの2枚が埋設されている。その永久磁石53aおよび53bが平板状であるため、磁石の製造が容易で安価である。またその永久磁石53aおよび53bが平板状であるため良好な寸法精度を確保でき、それらと永久磁石埋設用穴52との間の隙間が小さくできる。したがって、永久磁石53aおよび53bとロータコア51との間の磁気抵抗を小さくできるので、効率の高いモータが提供できる。また永久磁石53aおよび53bの表面積を、図8に示す第3の実施例同

様、図1に示す第1の実施例よりも大きく取ることができ、大きなトルクを得ることができる。

【0073】(実施例5)図10は、第5の実施例を示すモータの断面図である。

【0074】ロータ6は、ロータ外周側に対して凹の円弧状永久磁石埋設用穴62に永久磁石63を埋設し、上記永久磁石63の円弧の内側と外側で別々のロータ磁極を形成している。上記永久磁石63の円弧の内側で一方のロータ磁極、円弧の外側で他方のロータ磁極を形成するため、永久磁石の個数がロータ磁極数の半分でよく、特に、上記永久磁石63に高価な希土類磁石を用いる時には有利となる。

【0075】また、この場合は永久磁石埋設用穴62の数がロータ磁極数Nmの半分のNm/2であり、ロータコア61の半径をrとした時、永久磁石63の端部の厚みbは $\pi r / (3Nm)$ 未満とすればよい。

【0076】ロータコア61の外周に近接して、永久磁石埋設用穴62およびそれに埋設される永久磁石63の端部とに接するように磁束短絡防止用穴67を備え、その磁束短絡防止用穴部67を含む永久磁石用埋設穴62のロータ外周に近接した部分の角度 $\theta_a$ が、回転方向の角度にして30度である。

【0077】この場合の上記角度 $\theta_a$ は、あるロータ磁極における永久磁石埋設用穴62および永久磁石63端部に接する磁束短絡防止用穴67と、そのロータ磁極に隣接するロータ磁極における磁束短絡防止用穴の内、前者の磁束短絡防止用穴に近い側の磁束短絡防止用穴がない場合の例であり、本発明の角度 $\theta_a$ には上記のような場合も含まれるものとする。

【0078】磁束短絡防止用穴部67の作用については、第1の実施例と同様であるため省略する。

【0079】なお、図10においては、磁束短絡防止用穴部67は、永久磁石63両端部のそれぞれの片側に延設されているが、図11に示すように、永久磁石63両端部から両側に磁束短絡防止用穴部68および69を延設してもよい。この場合、図10のものに比べて、磁束の流れが均一になり好ましい。

$$\delta_{iL, R} = \delta_{0L, R} + 240 \cdot n \cdot j / Nm^2 \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここで、Nmはロータ磁極数である。nは、1以上、Nm/2以下の整数として固定し、jは、iが偶数の場合と奇数の場合、また、ロータ磁極左端部と右端部でそれぞれ独立して、0から(Nm/2n)-1までの整数をそれぞれn回ずつ取るものとする。

【0084】また、 $\delta_{0L, R}$ は、0より大きく、60/Nm度より小さく、次の(4)式の通りである。

【0080】(実施例6)図12は第6の実施例を示すモータの断面図である。

【0081】ステータ80は12個のティース81とそのティース81の根元をつなぐヨーク部82とからなり略円環形状であり、そのティース81間に形成される12個のスロット83には、そのティース81に集中巻による巻線84が施されている。ロータ8は、ステータ80と略同軸の略円筒形状であり、ステータ内周面に對向して8個のロータ磁極を有し、軸94を中心にして回転自在となるように軸受(図示せず)によって支持されている。ロータ8は、ロータコア91の回転方向に略等間隔に設けられ、かつ軸方向に貫く8個の永久磁石埋設用穴92に、板状の永久磁石93を埋設している。また、そのロータコア91の軸方向の両端部に端板(図示せず)を配し、貫通穴95にリベットピン96を通すことにより上記永久磁石93を上記ロータコア91に固定している。ロータ8は、ステータ巻線84に流れる電流により形成される回転磁界に、そのロータ磁極が吸引または反発することにより回転している。永久磁石埋設穴92の長手方向両端部に、ロータ外周に近接して磁束短絡防止用穴部97を有し、あるロータ磁極における永久磁石埋設用穴92および永久磁石93端部に接する磁束短絡防止用穴97と、そのロータ磁極に隣接するロータ磁極における磁束短絡防止用穴97の内、前者の磁束短絡防止用穴97に近い側の磁束短絡防止用穴97とを含むロータ外周に近接するロータコア部分の角度 $\theta_a$ が、略120/Nmすなわち略15度である。

【0082】あるロータ磁極を基準として時計または半時計方向に隣接するロータ磁極に連続してi=1, 2, ..., Nmと番号をつけ、上記基準のロータ磁極から数えてi番目のロータ磁極において、そのロータ磁極左端部の磁束短絡防止用穴部のロータコア外周に近接する部分の幅がロータコア中心に對して作る角度を $\delta_{iL}$ 、ロータ磁極右端部のそれを $\delta_{iR}$ とした時、その $\delta_{iL}$ および $\delta_{iR}$ は次の(3)式で示される。

【0083】

$$\delta_{iL, R} = 120 \cdot n / Nm^2 \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここで例えば、n=1、Nm=8とした時、jの取りうる値のうち、1通りのみを例に取り、 $\delta_{iL}$ の値を(表2)に示す。

【0086】

【表2】

iの取りうる値: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

jの取りうる値: iが奇数、偶数それぞれに対して0, 1, 2, 3を1回ずつ

i	j	$\delta_{iL}$ (度)
1	0	1.875
2	1	5.625
3	1	5.625
4	3	13.125
5	3	13.125
6	2	9.375
7	2	9.375
8	0	1.875

【0087】隣接する磁束短絡防止用穴部を合わせて略  $120/Nm = 1.5$  度の幅とするために、 $\delta_{iR}$  の値は自動的に(表3)に示すように決定される。

【0088】

【表3】

i	j	$\delta_{iR}$ (度)
1	2	9.375
2	2	9.375
3	0	1.875
4	0	1.875
5	1	5.625
6	1	5.625
7	3	13.125
8	3	13.125

【0089】上記(表2)および(表3)では計算値を示したが、図12では角度の精度の都合上、小数点第二位以下を四捨五入した値を示した。

【0090】ステータのティース数が(3/2)Nmである場合、ロータの磁極とステータのティースの先端と

の位置関係は、奇数番目のロータ磁極と、偶数番目のロータ磁極で(120/Nm)度異なっており、コギングトルクは、ロータ1回転につき3Nm回変動する。さらに、奇数番目のロータ磁極、偶数番目のロータ磁極それぞれの磁束短絡防止用穴部の角度を上式によりNm/2通りとすることにより、コギングトルクは、ロータ1回転につき(3/2)Nm<sup>2</sup>回変動することになり、コギングトルクの変動周期を小さくでき、したがって、コギングトルクの値を小さくできるため、振動や騒音の小さいモータを提供できる。

【0091】なお、ロータコア91の寸法や加工精度により、加工が困難な場合は、図13に示すように、n>1としてもよいが、図12に示すモータと比べると振動や騒音低減の効果は小さくなる。n=2とした時、jの取りうる値のうち、1通りのみを例に取り、 $\delta_{iL}$ 、 $\delta_{iR}$ の値を(表4)に示す。

【0092】

【表4】

i	j	$\delta_{iL}$ (度)	j	$\delta_{iR}$ (度)
1	1	11.25	1	11.25
2	0	3.75	1	11.25
3	0	3.75	0	3.75
4	1	11.25	0	3.75
5	1	11.25	1	11.25
6	0	3.75	1	11.25
7	0	3.75	0	3.75
8	1	11.25	0	3.75

【0093】上記(表4)では、計算値を示したが、図13では、角度の精度の都合上、小数点第二位以下を四捨五入した値を示した。

【0094】図14は、磁束短絡防止用穴部無しのモータ、図12のモータ、図13のモータの、同一入力時ににおけるトルク、通電時のトルク脈動、無通電時のコギングトルクを示した特性図である。それぞれの値は、磁束短絡防止用穴部無しのモータを1として規格化した。図14から明らかなように本実施例に示したモータでは、トルクを落とすことなく、トルク脈動を20~30%、コギングトルクを70~80%低減することができた。

また、加振力の周波数を上げることにより、防振や遮音を容易にできる。

【0095】上記の説明にて規定した角度は、5%程度の範囲内の誤差は特性上許容される。

【0096】また本発明において、ロータに埋設する永久磁石は、固形状の磁石を永久磁石埋設用穴に挿入することはもちろん、例えば樹脂磁石のような成形磁石を永久磁石埋設用穴に成形によって形成してもよいことは言うまでもない。

【0097】本発明は、上記の種々の実施例に関連付けて説明されているが、このほかに様々に変化されても実

施され得る。

【0098】本明細書や図面に用いた実施例は本発明をそれだけに限定するものではない。また、本実施例の詳細が請求項の範囲を限定するものでもない。

【0099】

【発明の効果】請求項1記載の発明によれば、永久磁石両端部の磁束の短絡を防ぎ、永久磁石の磁束がステータに渡り、トルク発生に有効に働くことにより、効率を高くするとともに、コギングトルクが低く、振動・騒音の少ない永久磁石モータを提供する。

【0100】請求項4記載の発明は永久磁石端部の磁束が、その両端で短絡することなく、確実にステータ1に渡りトルク発生に効果的に寄与する。

【0101】請求項6記載の発明によれば、永久磁石が安価で寸法精度がよいため、ロータコアと永久磁石の隙間を小さくでき、効率の高い永久磁石モータを提供する。

【0102】請求項7記載の発明によれば、永久磁石の数を少なくでき、永久磁石両端部の磁束の短絡を防ぎ、永久磁石の磁束がステータに渡り、トルク発生に有効に働くことにより、効率を高くするとともに、コギングトルクが低く、振動・騒音の少ない永久磁石モータを提供する。

【0103】請求項8記載の発明によれば、希土類磁石は保磁力が高いため、その厚みを小さくでき、永久磁石の小型化、高効率化を図ることができる。

【0104】請求項9記載の発明によれば、永久磁石がロータコアの永久磁石埋設用穴内部で振動することなく、ロータ強度を増すことになり、信頼性の高い永久磁石モータを提供する。

【0105】請求項10記載の発明によれば、永久磁石の磁極面とロータコアが密着するため、磁気抵抗が小さく、従って、効率の高い永久磁石モータを提供する。

【0106】請求項11記載の発明によれば、鉄損と銅損のバランスの取れた、効率の高い永久磁石モータを提供する。

【0107】請求項12記載の発明によれば、鉄損と銅損のバランスの取れた、効率の高い永久磁石モータを提供する。

【0108】請求項13記載の発明によれば、半径方向の吸引力を均一にすることができるので、コギングトルクを低減でき、振動や騒音の小さいモータを提供できる。

【0109】請求項19記載の発明によれば、コギングトルクを低減でき、振動・騒音の少ない永久磁石モータを提供する。

【0110】請求項20記載の発明によれば、コギングトルクを低減でき、振動・騒音の少ない永久磁石モータを提供する。

【0111】請求項21記載の発明によれば、効率が高く、振動・騒音の少ない永久磁石モータを提供する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例を示すモータの断面図

【図2】同一量の永久磁石を用い、ロータ磁極数に応じてロータ外径およびステータ内径を最適に設計した場合の、ロータ磁極数とモータ損失との関係を示す特性図

【図3】ロータコアにシリコン含有量の大きい鋼板を用いた場合のステータ外径に対するロータ外径の比率とモータ損失との関係を示す特性図

【図4】ロータコアにシリコン含有量の小さい鋼板を用いた場合のステータ外径に対するロータ外径の比率とモータ損失との関係を示す特性図

【図5】ロータコアにおける角度 $\theta_a$ とコギングトルクとの関係を示す特性図

【図6】ロータコアにおける角度 $\theta_a$ とトルク脈動値との関係を示す特性図

【図7】本発明の第2の実施例を示すモータの断面図

【図8】本発明の第3の実施例を示すモータの断面図

【図9】本発明の第4の実施例を示すモータの断面図

【図10】本発明の第5の実施例を示すモータの断面図

【図11】本発明の第5の実施例における他のモータの断面図

【図12】本発明の第6の実施例を示すモータの断面図

【図13】本発明の第6の実施例における他のモータの断面図

【図14】モータ仕様とトルク、トルク脈動値、コギングトルクとの関係を示す特性図

【図15】従来のモータの断面図

【符号の説明】

1 ステータ

2 ロータ

11 ティース

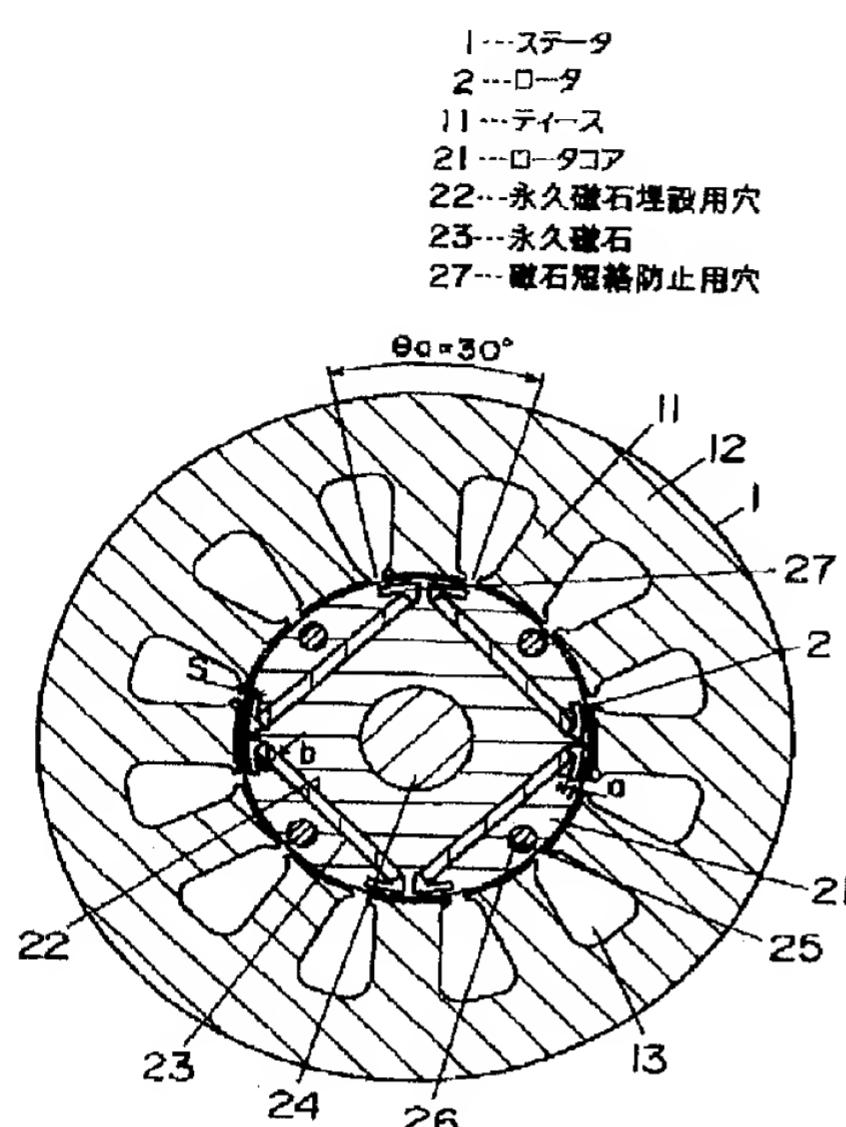
21 ロータコア

22 永久磁石埋込用穴

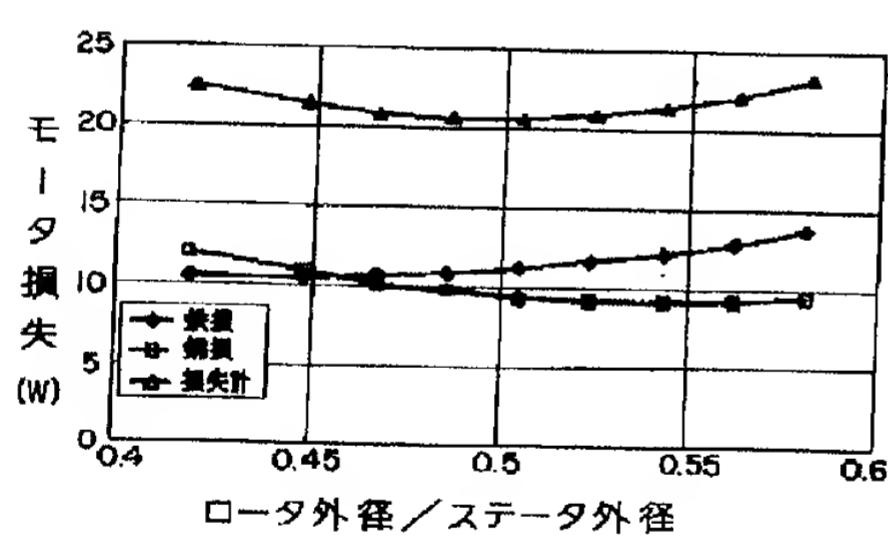
23 永久磁石

27 永久磁石短絡防止用穴

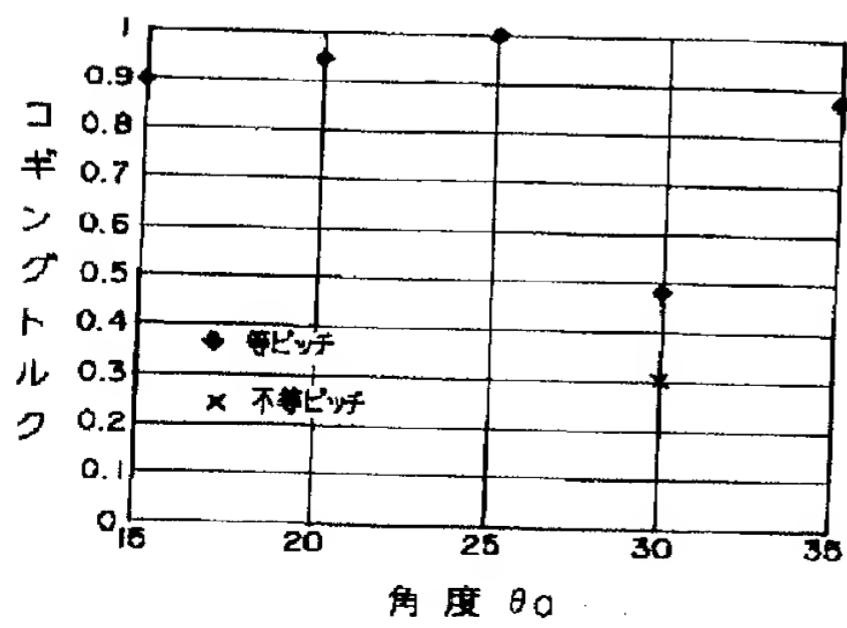
【図1】



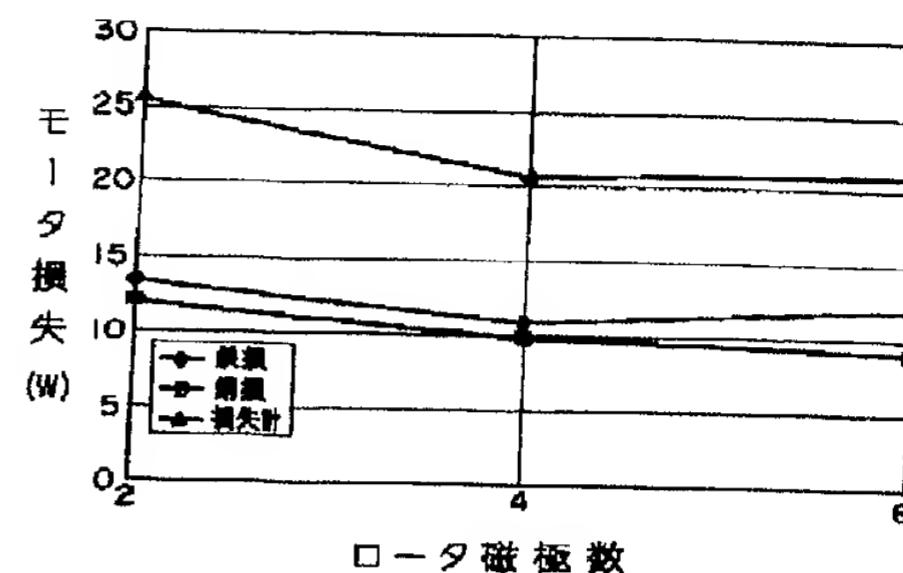
【図3】



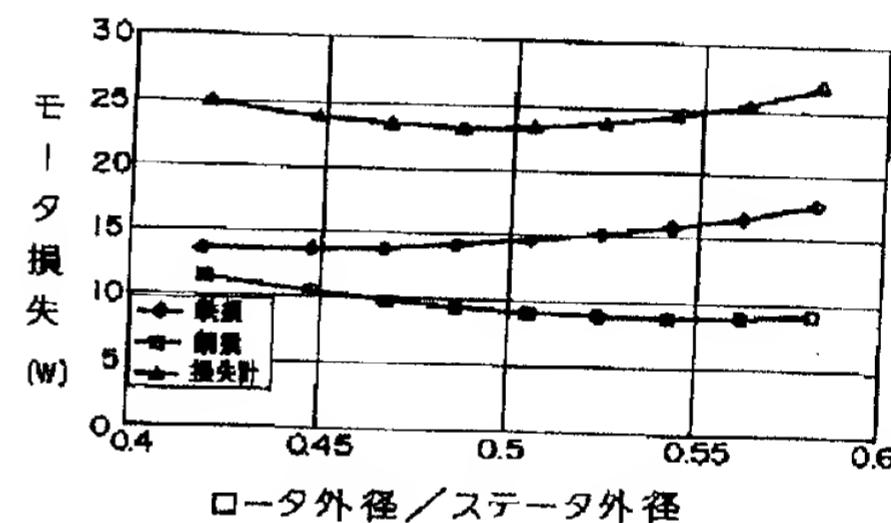
【図5】



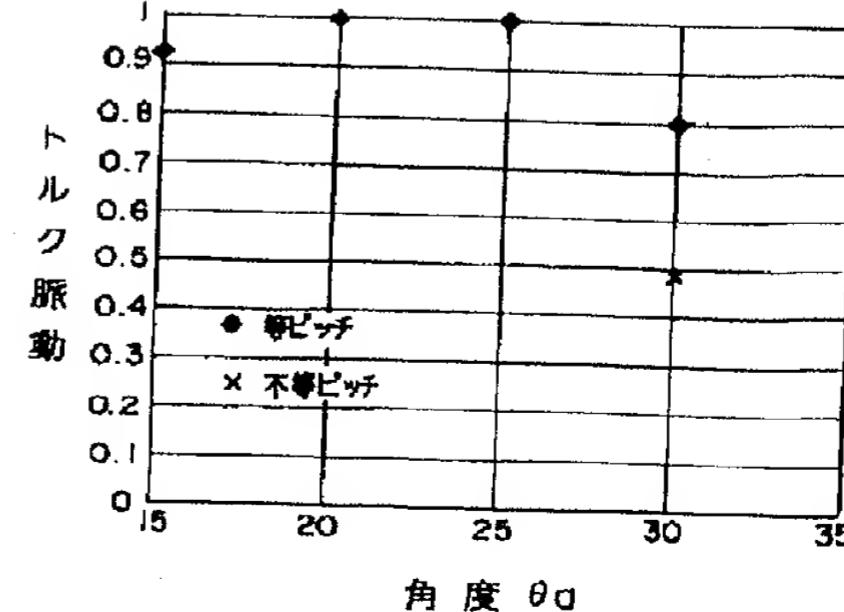
【図2】



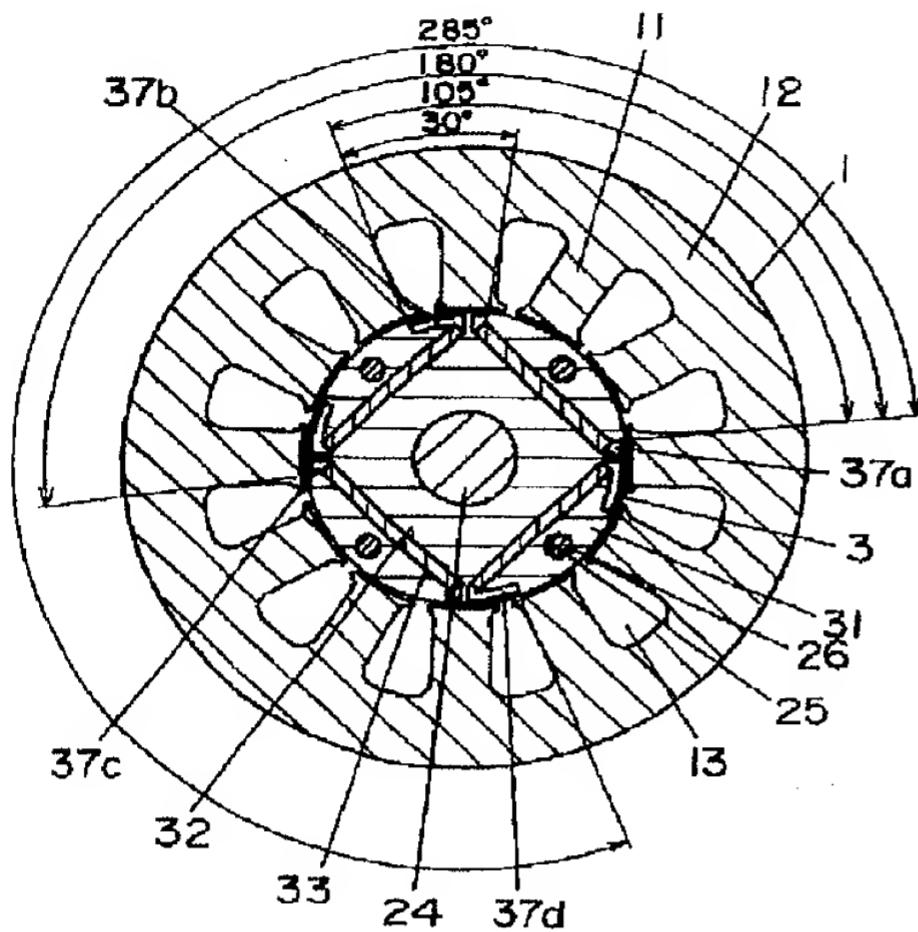
【図4】



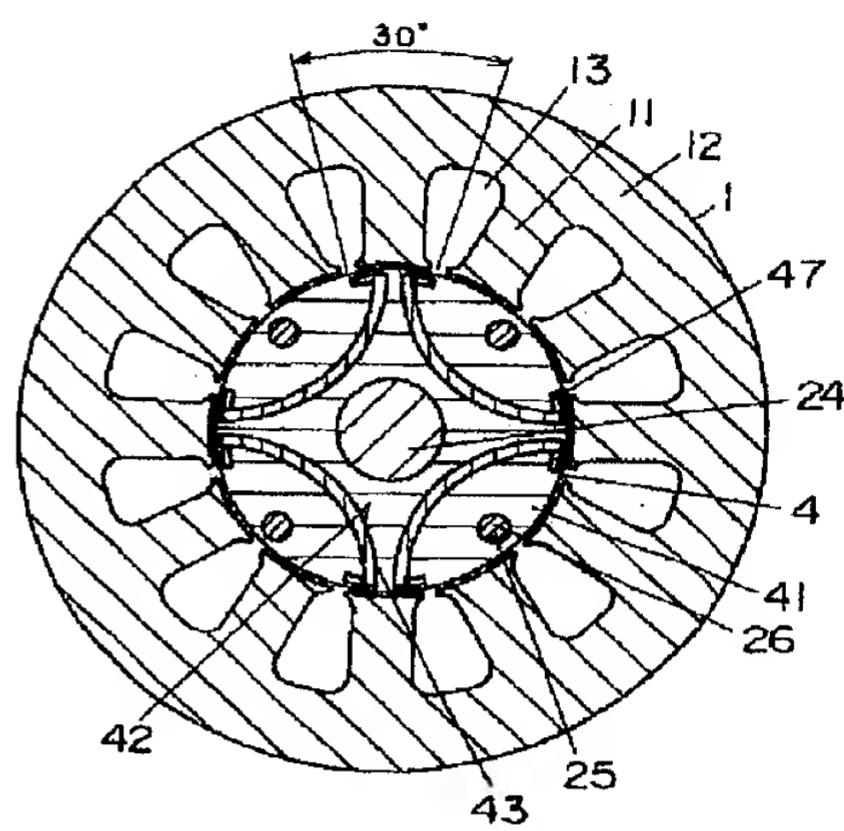
【図6】



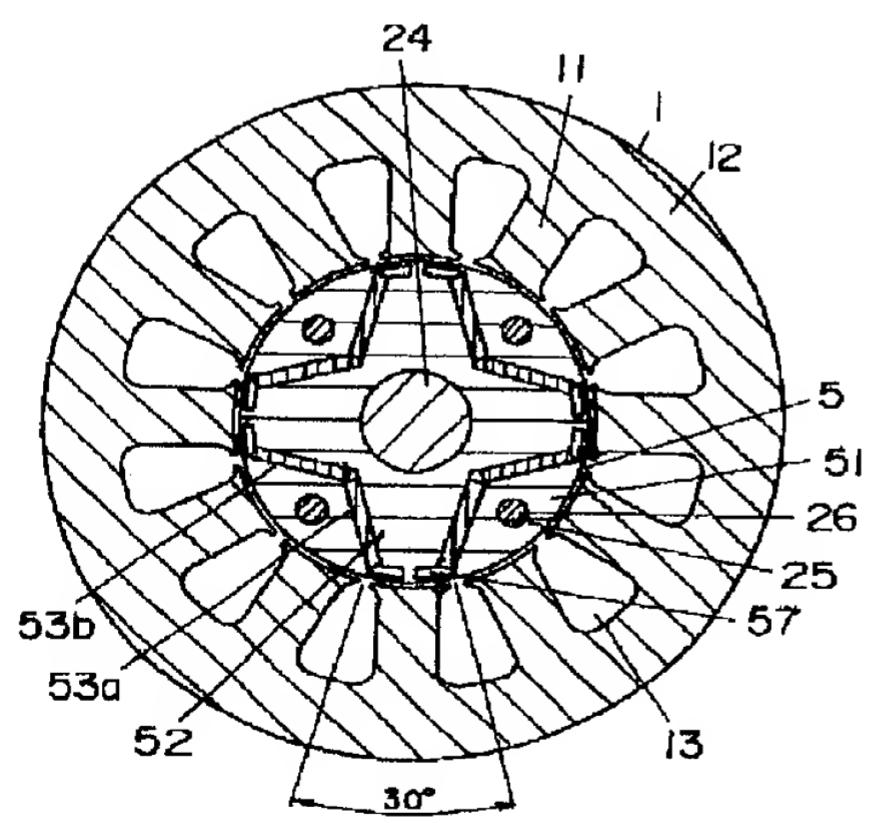
【図7】



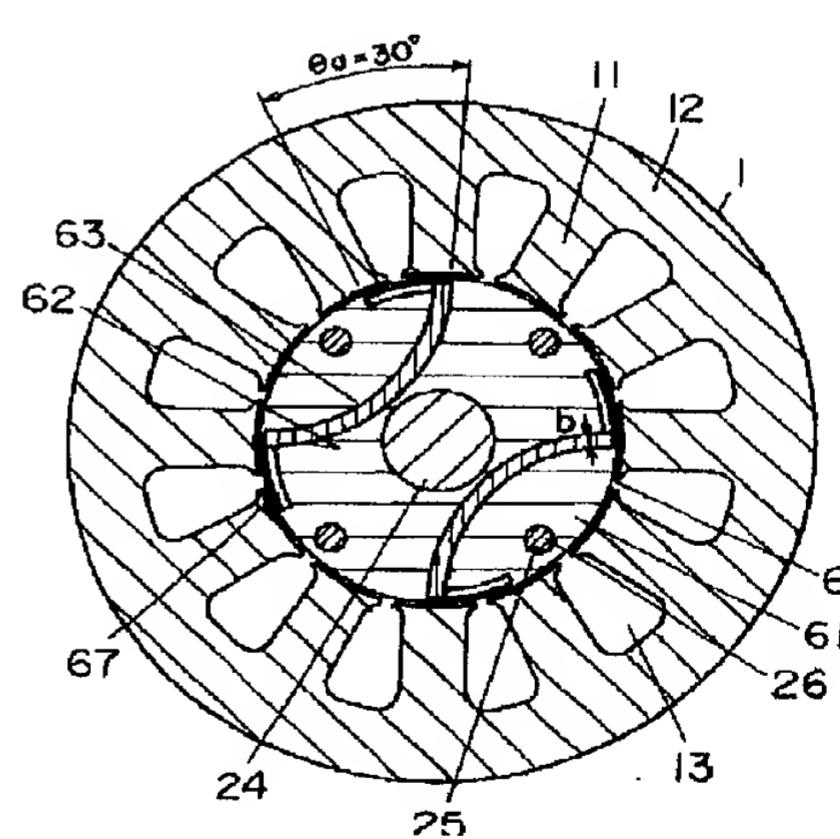
【図8】



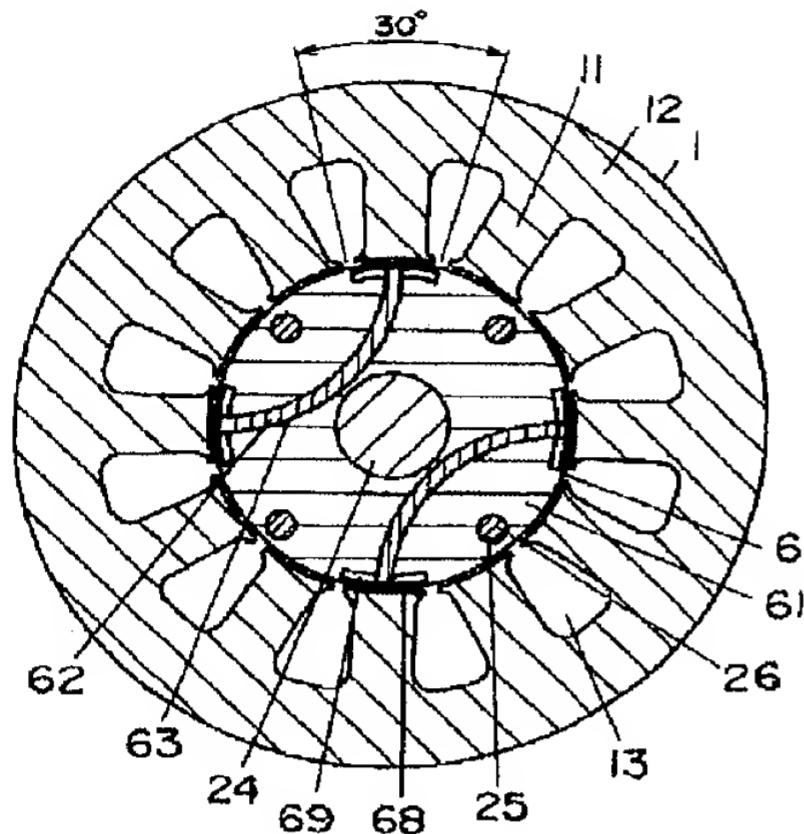
【図9】



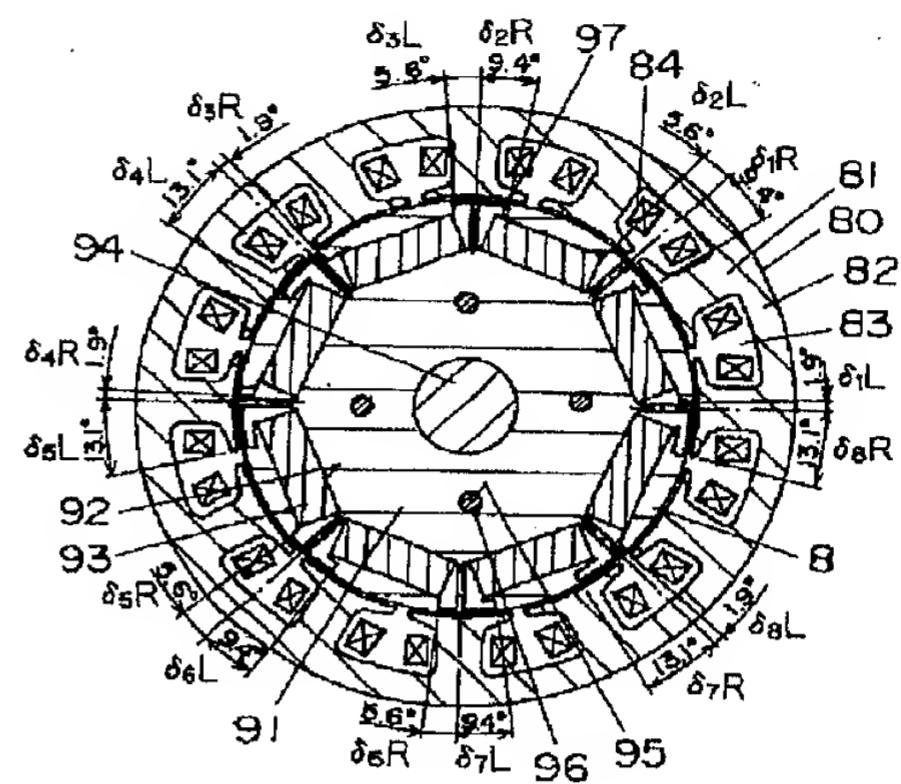
【図10】



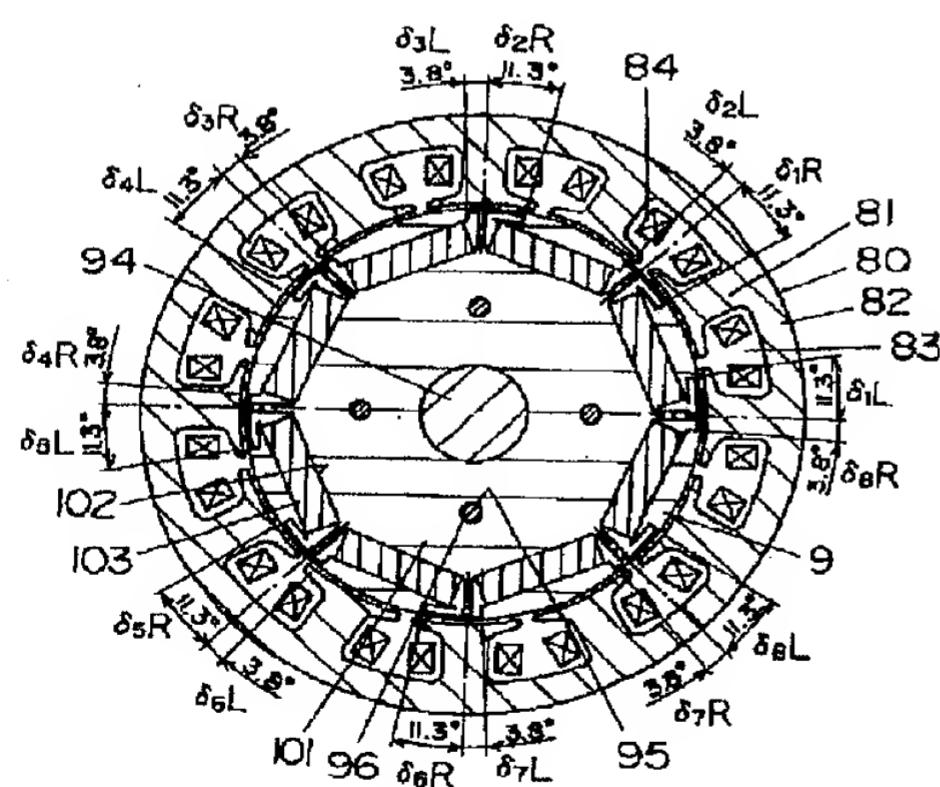
【図11】



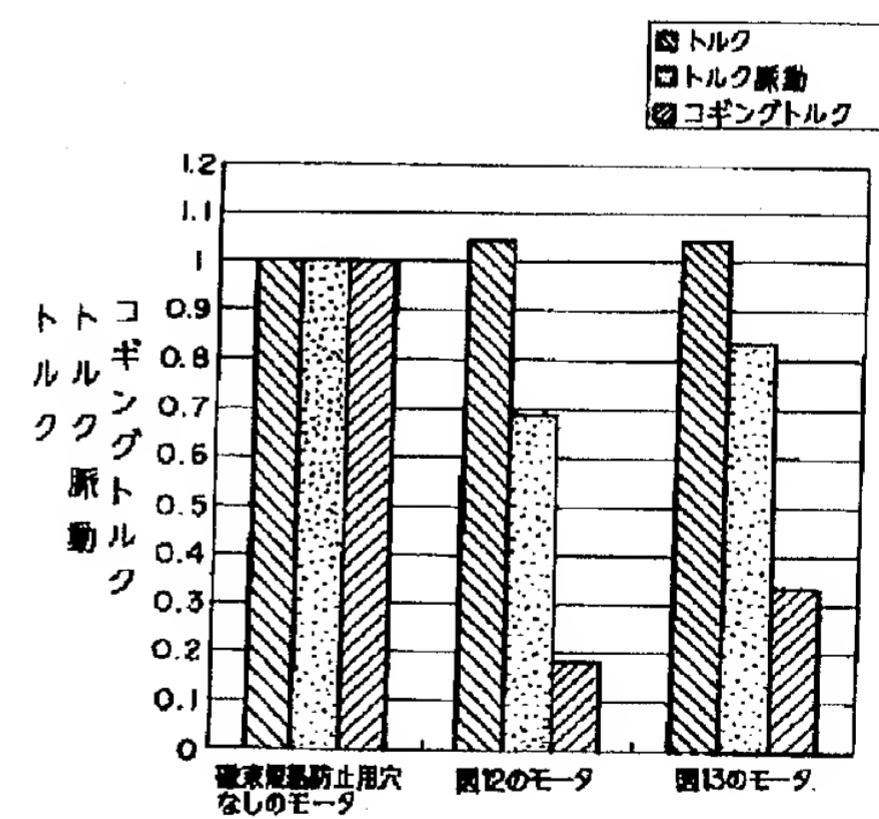
【図12】



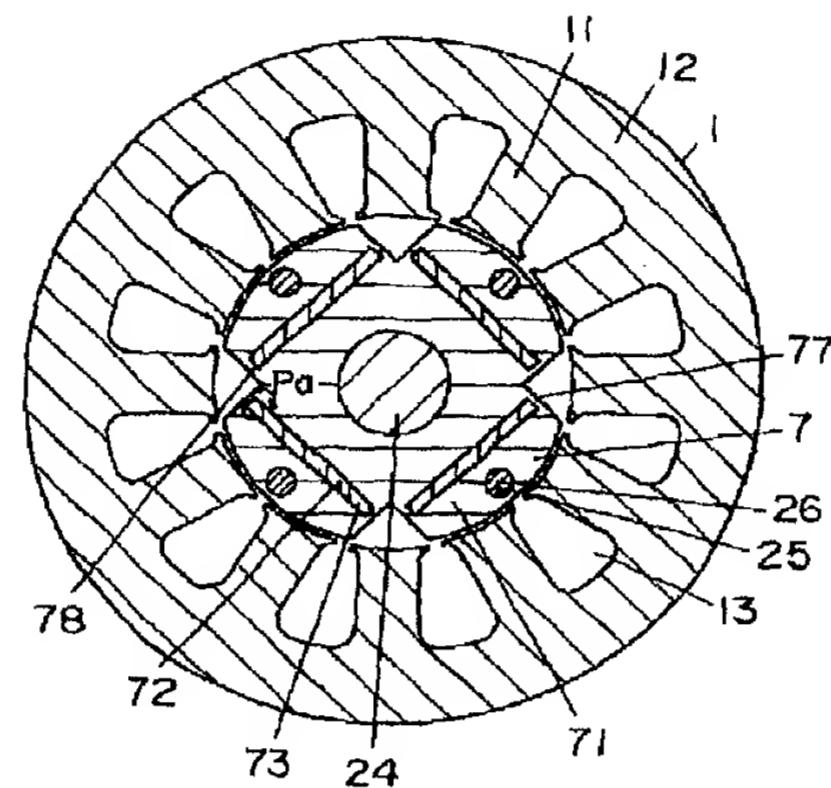
【图13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

H 02 K 21/16

識別記号

F I

H 02 K 21/16

M

(72) 発明者 森重 健  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 小原 一浩  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 本田 幸夫  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 村上 浩  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 角谷 直之  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 横手 静  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内